第2章

ボード設計の“常識”，“非常識”

——総合的な視野による設計のすすめ

坂田秀幸

ここでは，ボード設計の初心者が勘違いしやすい基板コストや信頼性などの問題について解説する．プリント基板は，さまざまな領域の技術（材料，基板製造，回路設計，基板設計，実装，検査など）を組み合わせることによって実現されている．そのため，狭い視野で判断すると，最適な基板を実現できない場合が少なくない．基板設計のプロフェッショナルには，トータルの（総合的な）視点で判断する能力が求められる．　（編集部）

ここでは，ボード設計の初心者の方が勘違いしやすい項目について，簡単な設問に答える形で紹介していきたいと思います．

まずは，以下の文章が正しいかまちがっているかを考えてみてください．また，まちがっていると思う文章については，その反例（「×××の場合があるのでまちがい」といった事例）を考えてください．

- 基板層数が少ないほど基板は安くなる
- 部品点数が少ないほど基板の実装費用は安くなる
- 基板の製造性（製造のしやすさ）や製造コストはプリント基板設計で決まる
- 回路図エディタが出力したネットリストをもとに基板設計を行う場合，基板上で配線のミスは発生しない
- プリント基板のよしあしは基板設計で決まる
- 同じ層数で，同じサイズのガラス・エポキシ基板を同じ枚数だけ製作する場合，ワーク・サイズからいかに多く切り出せるかによって基板単価が決まる
- ガラス・エポキシ基板（FR-4）をガラス・コンポジット基板（CEM-3）にすることでコスト・ダウンが図れる
- 基板を安く購入するためには，複数のメーカに声をかけていちばん安い価格を提示した会社に注文するとよい
- 共晶はんだ実装から鉛フリーはんだ実装へ切り替える場合，実装される部品を鉛フリー対応品にすれば問題ない

ちょっと意地悪な問題になってしまいましたが，答えはすべて「誤り」です．ここで質問文を読みながら，違っているケースが即座に頭に思い浮かんだ人は，ある程度プリント基板設計を経験された方だと思います．

それぞれの項目について，何が違っているのかを説明していきます．

1 基板層数が少ないほど基板は安くなる　No!

同じ大きさの基板を製作する場合，基板の層数が少ないほうが当然安くなります．よって層数を減らすことはとても重要です．

ただし，基板設計そのものは，一般に層数が少なくなるほど難しくなる傾向にあります．とくに複数（3～4種類以上）の電源がある場合や放射ノイズが問題になる場合，インピーダンス制御が必要な高速信号配線がある場合は，層数が十分に確保されていないと基板設計が非常にやっかいになります．

確かに基板の初期費用や基板単価については層数が少ないほうが安いと言えます．しかし，設計に多くの工数がかかると，設計費（エンジニアリング・コスト）が上昇します．

表1の例で考えてみましょう．基板単価を下げるため，6層が必要と思われる基板を4層で設計したとします．設計が難しくなるので，設計費が上がります．**表1**の価格例の場合，4層で設計した効果が現れる境界点は製作枚数が50枚以上となります．製作枚数がそれ以下の場合，無理に4

表1　基板の層数と設計費用の例

	設計費	基板初期費用	基板単価
4層基板	600,000円	200,000円	2,000円
6層基板	400,000円	250,000円	5,000円

層で設計しても何のメリットもありません．

基板の層数や層構成については，回路設計者がプリント基板設計者に指示を出す場合もあるかと思います．基板製作枚数と設計費用（設計のやりやすさ）の両方を考慮し，総合的な判断によって決めることが重要です．

2 No! 部品点数が少ないほど基板の実装費用は安くなる

自動実装があたりまえの昨今，部品点数は，実装コストの中でさほど大きな割合を占めてはいません．部品点数が少なければ実装機の稼働時間が短くなるので安くなることは確かですが，小量～中量の生産ではたいした費用の違いにはなりません．

では何が大きな割合を占めるかというと，以下のような費用です．

- **自動実装機で実装するまでの段取り部分の作業費用**
- **手付け費用，検査費用**

つまり，人間による作業（人件費）を減らした基板設計ができて初めて実装費用を抑えることができるのです．

自動実装機にかける場合の段取り作業としては，以下のようなものがあります（**図1**）．

- **実装機用プログラムの作成**
- **部品カートリッジへの部品の装着**
- **実装機への部品カートリッジの装着**
- **部品の吸着確認**
- **部品の実装精度や方向の確認**

これらの作業は，基板に実装される部品の種類が増えれば増えるほど時間がかかります．逆にいうと，部品点数が多くても部品の種類が少なければ，全体の実装コストを抑えられるということになります．

部品の種類が増えるケースとしてよく見られるのは，許容差や耐圧電圧を使い分けて設計しているケースです．これらの部品は，定数やサイズなどが同じであれば，特性による価格の差がよほど大きくない限り，特性の良いほうに統一したほうが安く済むでしょう．

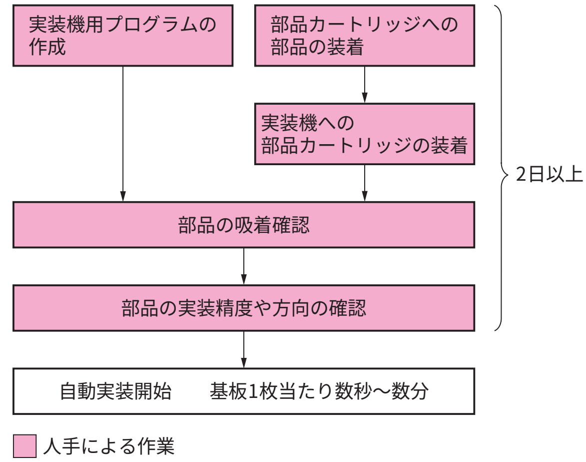


図1　自動実装機にかけるまで

段取り部分，すなわち人手による作業をいかに削減できるかが重要．そのためには部品の点数を減らすのではなく，部品の種類を減らすことが必要．極端な話，実装部品が50種100個の基板より，10種1,000個の基板のほうが安く，速く実装できる．

3 No! 基板の製造性（製造のしやすさ）や製造コストはプリント基板設計で決まる

プリント基板の設計段階で行われるパッド設計や配置設計，基板の多面取り設計をどのように行うかによって，基板の製造性や製造コストは大きく変わります．そういう意味では，製造性や製造コストは「プリント基板設計で決まる」と言えるのかもしれません．しかし，それだけではどうしようもないケースもあります．

面実装部品と挿入実装部品が混在している基板のはんだ付け工程を**図2**に示します．面実装部品は両面に実装されるものとしています．ここで，例えば挿入実装部品を排除できたとすると，作業工程が一つ減ります（**図2**の工程4の部分）．工数的には1工程減るだけなのですが，コスト的には人手による作業の部分がなくなるので，場合によっては製造コストを大幅に抑えることができます．

プリント基板の設計段階に入ってしまうと，「部品調達の手配がすでに行われてしまっている」，「コネクタなど，装置インターフェースにからむ部分は後から変更できない」などの理由で，どうにもならないことが多いようです．したがって，装置の仕様を決定する段階や回路の詳細設計を行う段階で，製造工程における人手の作業を少しでも減らす検討を行うことが重要です．

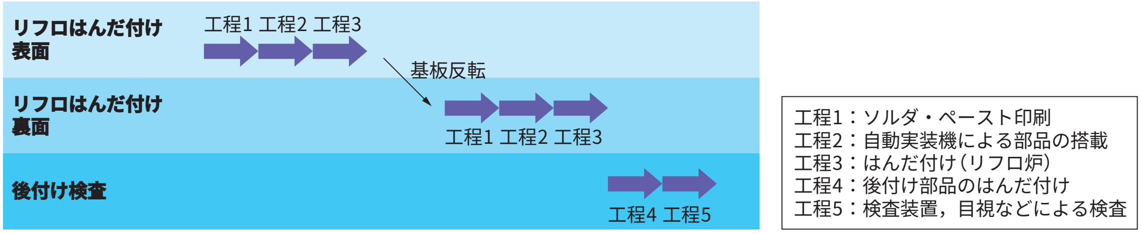


図2　基板のはんだ付け工程
基板のはんだ付け工程から人手による作業を省いていくのが，実装コストを下げる基本である．

4 No! 回路図エディタが出力したネットリストをもとに基板設計を行う場合，基板上で配線のミスは発生しない

上記の文章が，「ネットリストをもとに基板設計を行う場合，ネットリストに忠実に配線を行える」という設問であれば，答えは「Yes！」になります．何が言いたいのかというと，ネットリストに忠実にしか配線できないということは，ネットリストの情報に抜けや誤り（電気回路的なまちがいではない）があると，そのまま誤った基板ができてしまうということです．そこの部分をしっかりと認識して基板設計や検図作業を行わないと，むだな工数が発生してしまいます．

ネットリストの情報に問題があるケースとして，以下のような状況が考えられます．

- **回路図ネット・データ（ネットリスト）に情報不足がある**
- **回路図シンボルとプリント基板マクロのピンに不整合がある**

プリント基板設計に必要な配線情報のすべてが回路図ネット・データに含まれていれば問題はありません．しかし現実には，そのように書かれた回路図は少ないようです．そのため，プリント基板の設計の段階で，どうしてもネット・データと異なるパターンを引かなければならない局面が出てきます．

例えば，コネクタ固定用の穴などは，多くの場合，接続図上では表現されません．しかし，実際にはそのピンはケースとつながっており，フレーム・グラウンド（FG）や信号グラウンド（SG）に接続する場合があります．ここで，このスルー・ホールを誤って電源層に落としてしまっていても，DRC（設計ルール・チェック）などではいっさい引っかかりません．同じように，レギュレータICの放熱用TABピンなども，グラウンド電位ではなく，入力あるいは出力電位を持っているものがあり，接続を誤る可能性があります．

したがって，電気回路とは直接かかわらないこうしたピンについても回路図シンボル上に表現し，ネット情報を付加するほうがよいでしょう．

ネットリストをもとにした基板設計におけるもう一つの注意点は，回路図シンボルとプリント基板マクロ（フットプリントなど）のピンの不整合です．この問題は，おもに2ピンの有極性部品などで発生します．電解コンデンサの例で言うと，回路図シンボルではプラス側を1ピンと定義し，プリント基板マクロではプラス側を2ピンと定義しているような場合です．回路図エディタとレイアウト設計ツールの設計ルールが一貫して管理されていない場合，こうした不整合は1/2の確率で発生します．そこで，プリント基板設計の段階で整合をとる作業を実施するのですが，このときの確認作業や整合作業は人間が行うため，当然，ケアレス・ミスも発生します．

このように，ネットリストをもとに基板設計を行った場合でも，完全にミスを排除することはできません．回路設計者の方もこのような不完全な部分があることを認識したうえで，アートワーク（基板レイアウト）を検図することが重要です．

5 No! プリント基板のよしあしは基板設計で決まる

プリント基板設計者が回路や部品，伝送線路，放射ノイズなどの電気的な知識を持っていないと良い基板ができないことは言うまでもありませんが，最近では，これらの知識を持っていても，期待どおりの基板を作ることが難しいケースが出てきています．

一般的な例として，コネクタやBGA（ball grid array）パ

2

表2　ワーク・サイズの例

	基材サイズ	ワーク・サイズ
S	350mm × 350mm	335mm × 330mm
M	520mm × 350mm	500mm × 330mm
L	650mm × 350mm	635mm × 330mm

ッケージなどのピン割り当て（ピン配置）の問題があります．ここで「悪いピン割り当て」とは，基板上の配線にひねりが入ってしまうようなピン割り当てです．配線にひねりが入ってしまうと，どうしてもスルー・ホールを打って，別層で切り返すという処理が必要になってしまいます．そうするとむだな配線領域が出てきますし，その信号が高速信号の場合，信号波形の劣化にもつながります．

このような場合，プリント基板設計者から回路設計者へピン割り当ての変更依頼が来たりするのですが，前述のようにプリント基板設計の段階まで来てしまうと，ピン割り当ての変更に対応できないケースが多々発生します．

したがって，理想的な基板を実現するためには，回路図を作成する段階である程度，その回路をプリント基板に実装することを考慮する必要があります．プリント基板のよしあしは，仕様検討や回路設計の段階できちんと検討されたかどうかに大きく左右されるのです．

6　No!

同じ層数で，同じサイズのガラス・エポキシ基板を同じ枚数だけ製作する場合，ワーク・サイズからいかに多く切り出せるかによって基板単価が決まる

基板メーカは，基板を製作するための材料（基材）を基材メーカより購入しているケースがほとんどです．その基材を基板の製作注文が来てから手配しているようでは要求される納期にこたえられません．そのため，あらかじめ購入しておき，一定量をストック（保有）しているのが普通です．

基板メーカがストックしている基材を使って基板を製作する場合，基材の調達の手間が発生しないため，短い納期で基板を納入してもらうことができます．しかし，基板メーカとしても，あらゆる層構成に対応できるように基材をストックできるはずがありません．そのため，利用頻度の高い基材に絞ってストックしています．当然，その基材についてはまとめ買いを行っているため，安く購入することができ，その結果，基板単価を抑えることができるのです．

基板メーカが用意している「標準基材」を考慮しないで層構成を決定すると，予想外に長い納期や高い価格が提示されることがあります．インピーダンス制御やアイソレーションなどのために層間隔を指定する必要がある基板については，少なくともプリント基板の設計を始める前に基板メーカを選択し，打ち合わせをしておく必要があります．

なお，「標準基材のサイズ」=「ワーク・サイズ」ではないことに注意してください（**表2**）．基板メーカで生板を製造する過程では，どうしても基材を固定したり，基準を入れたりするスペースが必要になってきます．例えば外形寸法が340mm × 330mmの基板を作ろうとした場合，**表2**の例ではMサイズの基材を使用しなければなりません．基板メーカにワーク・サイズをたずねると，ごくまれにですが基材サイズのほうを答えてくることがあるので注意してください．

7　No!

ガラス・エポキシ基板（FR-4）をガラス・コンポジット基板（CEM-3）にすることでコスト・ダウンが図れる

FR-4と比べてCEM-3のほうがグレードは低いのですが，これについても前項で述べたストックと大量購入のシステムをとっている関係で，CEM-3のほうがコスト・ダウンできるとはかならずしも言い切れません．もともと価格差がそれほど大きくないため，主流の基材であるFR-4を大量に購入することで，製作数量によっては価格が逆転してしまうケースもあります．

一方，高周波特性を確保するためにフッ素基板（テフロン基板）などを使用している場合に，ガラス・エポキシ基板で置き換えることができれば，かなり基板単価を抑えることができます．

8　No!

基板を安く購入するためには，複数のメーカに声をかけていちばん安い価格を提示した会社に注文するとよい

最近，ほとんどの基板メーカは基板を出荷する際にフライング・チェッカによる導通検査を行っていますが，それでも「100％問題がない」というわけにはいきません．導通

検査では，配線がつながってさえいれば「OK」となってしまいます．つまり，エッチング不良でパターンがやせ細り，ほんのわずかな導体でつながっていたとしても検査にパスしてしまうのです．

この手の疑似断線については，基板メーカの出荷時に検出できないのが現状です．その場合，部品の実装時に熱ストレスなどが加わり，完全に切れてくれれば調整検査時に発見できたりもしますが，最悪の場合，製品に組み込んで出荷したあと，経年変化によって断線してしまうケースがあります．このほか，積層上の不ぐあいやスルー・ホールめっきの不ぐあいもありますが，これらの不ぐあいも，なかなかゼロにできないのが現状です．**表3**に代表的な基板の不良モードを示します．

ただし，工程や設備の維持・管理，定期的な基板の仕上がり検査(穴の断面検査，メッキ厚検査など)を実施している基板メーカの品質とそうでない基板メーカの品質の差は，明らかにあります．基板単価がどんなに安くても，不良基板が多数混じっているのでは意味がありません．

基板単価という目先のコストだけでなく，基板メーカの品質管理体制を加味したうえで注文先を選定することが重要です．

表3　代表的な基板の不良モード

不良モード	内　容
断線	配線が完全に切れていた場合はチェッカで検出できるので問題ない．やっかいなのは，疑似断線モードの場合
デラミネーション	層間はく離全般
ボイド	気泡，異物混入などによる層間はく離
めっき不良	スルー・ホールなどのめっき析出不良が原因で導通異常を引き起こす(疑似断線モードの原因)．ドリル，めっき液，電流などの管理が悪いと起きやすい
スミア	ドリル加工時に異物が内壁に付着し，スルー・ホールめっきと内層パターンの接続をはばむ現象

9 No! 共晶はんだ実装から鉛フリーはんだ実装へ切り替える場合，実装される部品を鉛フリー対応品にすれば問題ない

鉛フリーはんだによるはんだ付け温度(融点)は，従来のSn-Pb共晶はんだによるはんだ付け温度より高くなります．よって，鉛フリー対応部品というのは，単に鉛が含まれていないというだけでなく，温度耐性もそれに適合している部品のことを指します．

同じことは基板についても言えます．単に表面処理を鉛フリーHAL(hot air leveler)や耐熱プリフラックス処理などの鉛フリー対応にするだけでは，部品実装時に不ぐあいが発生します．

また，鉛フリーはんだの場合，共晶はんだと比べて粘性が高いため，はんだぬれ性が低下します(基板上の金属パターンの上にはんだが均一に広がらない)．

このような理由から，部品の置き換えだけでは鉛フリー化を実現できず，基板設計の段階からの調整が必要となります．具体的には，プリント基板マクロのパッド・サイズやレジスト・サイズの変更，クリームはんだを塗るためのメタル・マスクの開口サイズの変更などです．

これらの基準は，製造性や信頼性を評価したうえで決定されるものです．もし，基板設計はA社で，部品実装はB社で，という形をとる場合は，部品を実装するB社に上記の設計基準を提出してもらい，それに従ってA社に基板の調整を依頼するという形をとる必要があります．

図3に，これまで共晶はんだで実装していた基板について，そのまま鉛フリー実装にしたときの不ぐあいの例を示します．

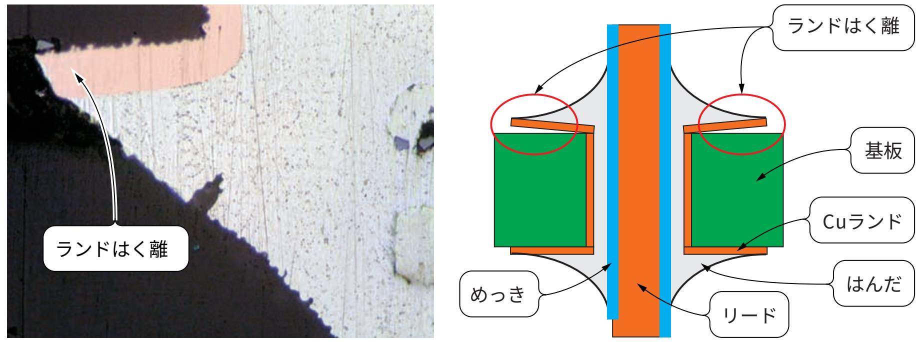
＊　　　＊　　　＊

ここでは，新人エンジニア，あるいは新人ではなくてもこれまで基板設計業務にあまり携わってこなかったエンジニアの方を対象に，プリント基板のコストや信頼性などについての話題を紹介しました．

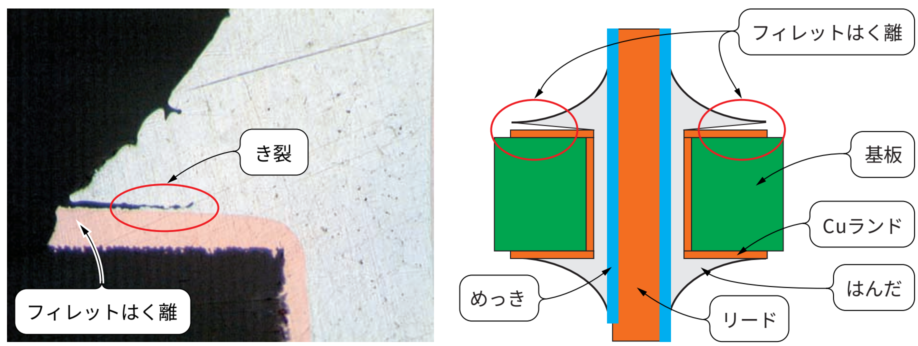
近年，LSIは非常に高機能になっており，回路設計者はその使いかたを理解して，論理をまちがえないように回路図を作成すれば所望の機器を作れるというケースが増えています．また，昔と比べるとアナログICなども非常に安定的に動作します．基板設計時にいろいろと頭を悩ませなくても，基本さえ押さえておけば，基板上で回路が安定動作するようになってきています(今でこそガラス・エポキシ基板上にGHzクラスのディジタル信号を通しても，配線長が短ければさほど問題にならないが，かつては百数十MHz程度の信号で四苦八苦していた時代があった)．

そういう意味では，回路設計者や基板設計者が，不ぐあいなく安定動作するボードを作ることはもはやあたりまえで，現在は，製造品質を確保した基板をいかに低コストで

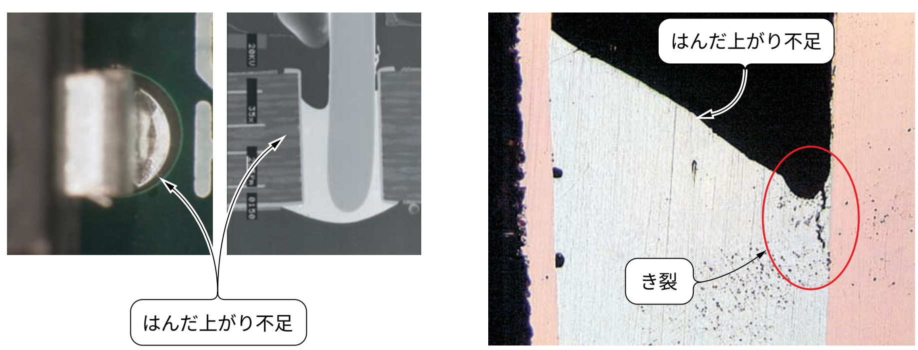
図3
鉛フリーはんだに置き換えたときの不ぐあい
共晶はんだで製造していた基板を，そのまま鉛フリー化するとランドはく離，フィレットはく離，はんだ上がり不足，その他の不ぐあいが発生する．基板のパッド設計基準を含めて，実装プロセスを見直さなければならない．鉛フリー化を進める際には，これらの技術を持った実装メーカと共同して行う必要がある．



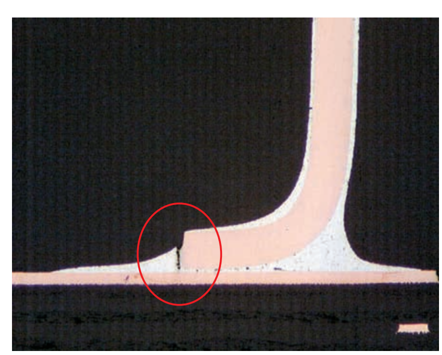
(**a**) ランドはく離



(**b**) フィレットはく離



(**c**) はんだ上がり不足



(**d**) リードの再溶融はく離

(すなわち，製造しやすく)設計できるかという点に価値が求められる時代になってきていると思います．

新人エンジニアのみなさんにとっては，まずは狭義の回路設計やプリント基板設計のしごとを覚えることが最優先だとは思いますが，ぜひ，製品を製造して出荷するまでの総合的な視点を持って基板設計のしごとに取り組めるようになってもらいたいと思います．

さかた・ひでゆき
東芝ディーエムエス(株)